

## Beschreibung

## Messeinrichtung und Verfahren zur Ortung einer Teilentladung

5 Die Erfindung betrifft eine Messeinrichtung und ein Verfahren zur Ortung einer Teilentladung bei einem eine elektrische Außenisolierung aufweisenden Leiterstab einer dynamoelektrischen Maschine sowie einen Sensor zum Ermitteln von Teilentladungen.

10

Aufgrund der einsetzenden und in naher Zukunft weiter zu erwartenden Veränderungen des Elektrizitätsmarktes ist die kostenoptimierte und unterbrechungsfreie Erzeugung und Verteilung elektrischer Energie für

15

Energieversorgungsunternehmen wünschenswert. Von besonderer Bedeutung sind hierbei Generatoren, deren Ausfall hohe finanzielle Aufwendungen verursacht, so dass ein wachsendes Interesse daran besteht, die Betriebszuverlässigkeit zu erhöhen.

20

Motoren, Generatoren und dergleichen weisen typischerweise einen Rotor auf, der in einem Statorkern drehbar gelagert ist. Der Statorkern weist Statorwicklungen auf, die aus isolierten Bündeln von Leitungen bestehen, die als

25

Statorstäbe bekannt sind, welche in Schlitze des Statorkerns eingebettet sind.

Die Hochspannungsleiter sind in der Regel isoliert. Die Isolation, die derartige Hochspannungsleiter umgibt,

30

verschlechtert sich mit der Zeit. Durch eine Verschlechterung der Isolation bzw. der Eigenschaften der Isolation, kann es zu einer teilweisen Entladungsaktivität innerhalb der Isolation kommen. Diese Entladungsaktivität verschlechtert weiter die Eigenschaften der Isolation. Schädigungen können

35

durch lokal begrenzte Durchschläge in Folge von Feldstärkeüberhöhungen im Isoliermedium entstehen. Diese Durchschläge schädigen die Isolierung langfristig. Eine

zunehmende Verschlechterung der Isolation führt zu einer stärker werdenden teilweisen Entladungsaktivität, was wiederum die Verschlechterung der Isolation beschleunigt.

5 Eventuell muss ein isolierter Leiter, der eine teilweise Entladungsaktivität erfährt, ersetzt werden, um einen Fehler bzw. Ausfall in den Statorwicklungen zu vermeiden oder zu korrigieren. Der Motor oder Generator muss hierbei außer Betrieb gesetzt und auseinander genommen werden. Dies ist ein  
10 kosten- und zeitaufwändiger Prozess. Es ist daher vorteilhaft, wenn man in der Lage ist, den Zustand der Isolation in den Statorwicklungen schon im Voraus zu bestimmen, um vorherzusagen, ob und näherungsweise wann eine Reparatur erforderlich sein wird, so dass die Reparatur auf  
15 geordnete und wohlorganisierte Weise vorgenommen werden kann, bevor der Fehler bzw. die Fehlfunktion auftaucht, und zu einem Zeitpunkt, der bezüglich des Betriebsplanes des speziellen Motors oder Generators, der betroffen ist, am besten geeignet ist.

20 Teilentladungsaktivitäten können durch unterschiedliche Methoden nachgewiesen werden, insbesondere durch chemische, akustische oder elektrische Methoden. Bei räumlich ausgedehnten Leitern, wie sie in Generatoren und Motoren  
25 eingesetzt werden, werden Teilentladungs-Impulse auf ihrem Weg vom Entstehungsort zum Messpunkt stark verformt, gedämpft und mit den reflektierten Teilentladungssignalen sowie äußeren Störsignalen überlagert, so dass nur in seltenen Fällen und unter großem mess- und rechentechnischem Aufwand  
30 eine Ortung der Teilentladungsquelle oder die Trennung von Teilentladungen und Störsignalen möglich ist.

Die Erfassung und Bewertung von Teilentladungen an räumlich ausgedehnten Anordnungen wie Generatoren oder ähnlichen  
35 Hochspannungsgeräten ist aufgrund der Verformung der Teilentladungssignale durch die charakteristischen Dämpfungseigenschaften sowie durch die Überlagerung mit

äußeren Störsignalen häufig mit großen Schwierigkeiten verbunden.

Ein Verfahren zur Ortung von Teilentladungen ist in dem Artikel „Ein neuartiges Sensorsystem zur Erfassung von Teilentladungen an gießharzisolierten Transformatoren“, Peter Werle, Volker Wasserberg, Hossein Borsi, Ernst Gockenbach, Schering-Institut für Hochspannungstechnik und Hochspannungsanlagen, Universität Hannover, Deutschland beschrieben. Danach werden Sensoren die zur Erfassung von Teilentladungssignalen ausgebildet sind, in äquidistanten Abständen auf einem Leiter verteilt. Eine Teilentladung breitet sich von ihrem Entstehungsort in beide Richtungen des Leiterstabes aus. Die Sensoren, die dem Ort der Entstehung der Teilentladung am nächsten angeordnet sind, erfassen das ausgeprägteste Signal. Durch eine Auswerteeinheit, die mit allen Sensoren verbunden ist, kann hierbei der Ort einer Teilentladung ermittelt werden. Nachteilig bei diesem Verfahren ist, dass nicht der genaue Ort der Teilentladung ermittelt wird, sondern ein Bereich zwischen zwei Sensoren als möglicher Ort der Entstehung einer Teilentladung ermittelt wird.

Ein weiteres Verfahren zur Ortung von Teilentladungen an Transformatoren und ähnlichen Hochspannungsgeräten ist in der DE 100 05 540 A1 beschrieben. Hierbei wird gemäss einer Systemtheorie durch eine Faltung einer Übertragungsfunktion und an äußeren Klemmen gemessenen Teilentladungssignalen eine Ortung der Teilentladungsquelle ermöglicht. Dies erfolgt, indem die Übereinstimmung der zurückgerechneten Eingangssignale mit dem am wahren Entstehungsort erzeugten Teilentladungssignal am größten ist.

In der DE 689 22 727 T4 ist ein weiteres Verfahren und eine Vorrichtung für die Teilentladungsdetektion angegeben. Hierbei wird mittels eines Sensors ein Signal erfasst, das von einer Teilentladung herrührt. Durch Analyse des Signals

wird mit einer relativ großen Fehlerwahrscheinlichkeit, der Entstehungsort einer Teilentladung lokalisiert.

Weitere Verfahren und Vorrichtungen zur

- 5 Teilentladungserkennung sind in der DE 197 58 087 A1 und in der DE 199 62 834 A1 beschrieben.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde eine Messeinrichtung und ein Verfahren anzugeben mit denen es möglich ist, eine  
10 Teilentladung bei einem eine elektrische Außenisolierung aufweisenden Leiterstab zu orten. Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, einen Sensor anzugeben, mit dem Teilentladungen ermittelt werden können.

- 15 Die auf die Messeinrichtung hin gerichtete Aufgabe wird durch eine Messeinrichtung zur Ortung einer Teilentladung bei einem eine elektrische Außenisolierung aufweisenden Leiterstab einer dynamoelektrischen Maschine gelöst, wobei ein erster und ein zweiter Sensor, die zum Erfassen von von der  
20 Teilentladung herrührenden, sich längs des Leiterstabs ausbreitenden Signalen ausgebildet sind, wobei der erste Sensor zum Ausgeben von einem ersten Erfassungszeitpunkt wiedergebenden, am ersten Sensor anliegenden ersten Teilentladungsausgangssignal und der  
25 zweite Sensor zum Ausgeben von einem zweiten Erfassungszeitpunkt wiedergebenden, am zweiten Sensor anliegenden zweiten Teilentladungsausgangssignals ausgebildet sind, in einem Abstand voneinander auf dem Leiterstab angeordnet sind. Das erste Teilentladungsausgangssignal und  
30 das zweite Teilentladungsausgangssignal werden hierbei einer Auswerteeinheit zugeführt, die zur Ortung der Teilentladung auf dem Leiterstab ausgebildet ist.

Der Vorteil der Messeinrichtung besteht insbesondere darin,  
35 dass der Ort durch eine Laufzeitmessung ermittelt wird. Am Entstehungsort der Teilentladung entsteht ein Teilentladungssignal, das sich in beide Richtungen des

- Leiterstabs ausbreitet. Das sich ausbreitende Signal wird durch den ersten und zweiten Sensor erfasst. Über eine Laufzeitmessung wird der Entstehungsort der Teilentladung ermittelt. Diese Messeinrichtung ist weitgehend unabhängig von der Form des Teilentladungssignals. In gängigen Teilentladungsortungsverfahren werden in der Regel die Signalformen ausgewertet und daraus der Entstehungsort ermittelt. Die Ergebnisse dieser Verfahren zeigen hohe Fehlerquoten. In der erfindungsgemäßen Messeinrichtung wird nicht eine Form des von der Teilentladung herrührenden Signals, sondern der Zeitpunkt des Eintreffens des von der Teilentladung herrührenden Signals bei dem ersten oder zweiten Sensor ausgewertet.
- Es können hierbei Teilentladungsquellen auf einzelnen Leiterstäben, Formspulen oder Ständerwicklungen genauer geortet werden als durch Dämpfungsvergleich ermittelte Teilentladungen.
- Da keine mechanische Abtastung des Leiterstabes erfolgt, sind Messzeiten kürzer als bei Messungen mit Ultraschallsensoren.
- Unter anderem können Fortschritte bei der Qualitätskontrolle ganzgetränkter Generatoren erzielt werden.
- Die Leiterstäbe können auf lokale Schwachstellen untersucht werden. Die Bewertung älterer Leiterstäbe zur möglichen Wiederverwendung in neuen Generatoren ist daher möglich. Außerdem ist eine Prognose über eine Restlebensdauer von älteren Leiterstäben möglich.
- Ein weiterer Vorteil ist, dass die Ortung einer Teilentladungsquelle innerhalb einer einzelnen Nut erfolgen kann.
- Der erste oder zweite Sensor kann direkt an dem Leiterstab angebracht werden, dadurch wird das erste oder das zweite Teilentladungsausgangssignal nicht durch lange

Ausbreitungswege (mehrere Nuten, Wickelkopf, Schaltverbinder und Durchführungen) verformt. Eine genauere Ortung ist hierdurch möglich.

- 5 Ebenso ist eine schnelle und gefahrlose Entfernung des ersten oder zweiten Sensors möglich.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung weist die Auswerteeinheit einen Zeit-Differenz-Baustein mit einem  
10 ersten Zeit-Differenz-Signaleingang, einem zweiten Zeit-Differenz-Signaleingang und einem Zeit-Differenz-Ausgang auf. Am ersten Zeit-Differenz-Signaleingang liegt das erste Teilentladungsausgangssignal und am zweiten Zeit-Differenz-Signaleingang liegt das zweite Teilentladungsausgangssignal  
15 an. Die Auswerteeinheit ist derart ausgebildet, dass eine Zeit-Differenz zwischen einem Eintreffen des ersten Teilentladungsausgangssignals des ersten Sensors an dem Zeit-Differenz-Baustein und einem Eintreffen des Teilentladungsausgangssignals des zweiten Sensors an dem  
20 Zeit-Differenz-Baustein ermittelt wird und als Zeit-Differenz-Ausgangssignal am Zeit-Differenz-Ausgang anliegt. Die Auswerteeinheit weist hierbei einen Berechnungs-Baustein mit einem Berechnungseingang auf, an dem das Zeit-Differenz-Ausgangssignal anliegt und derart ausgebildet ist, dass ein  
25 Teilentladungsortungswert berechnet wird, der den Entstehungsort der Teilentladung auf dem Leiterstab angibt.

Vorteilhafterweise wird in der Auswerteeinheit der Teilentladungsortungswert ermittelt gemäss der Gleichung  $l_1 =$   
30  $(l + v \Delta t)/2$ , wobei  $l$  der Abstand zwischen dem ersten und dem zweiten Sensor ist,  $l_1$  der Abstand des Entstehungsortes der Teilentladung zu dem zweiten Sensor ist,  $v$  die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Teilentladung,  $\Delta t$  die Zeit-Differenz ist.

35

Mit der Maßgabe, den Teilentladungsortungswert mit der vorgenannten Gleichung zu ermitteln, wird eine

Messeinrichtung vorgestellt, die lediglich einen Parameter hat, der während eines Messverfahrens ermittelt wird.

Die Messeinrichtung kann in einem Generator oder in einem  
5 Transformator ihre Verwendung finden.

In vorteilhaften Ausbildungen der Erfindung wirkt der erste oder zweite Sensor als kapazitiver Sensor; der erste oder zweite Sensor als induktiver Sensor; der erste oder zweite  
10 Sensor als Längsspannungssensor.

Allgemein nehmen induktive Sensoren eine magnetische Komponente von transversalen elektromagnetischen Wellen auf, die sich um den Leiterstab herum ausbreiten. Kapazitive  
15 Sensoren nehmen eine elektrische Komponente von transversalen elektromagnetischen Wellen auf. Längsspannungssensoren nehmen eine Spannung auf, die auf Grund eines Stromes in einer elektromagnetischen Welle in einer hochohmigen Leitschicht (Außenglimmschutz) abfällt.

20

Die auf das Verfahren hin gerichtete Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Erfassung und Ortung einer Teilentladung bei einem eine elektrische Außenisolierung aufweisenden Leiterstab einer dynamoelektrischen Maschine, wobei ein  
25 erster Sensor und ein zweiter Sensor zur Erfassung von von der Teilentladung herrührenden, sich längs des Leiterstabs ausbreitenden Signalen in einem Abstand voneinander auf dem Leiterstab angebracht werden und der erste Sensor ein erstes Teilentladungsausgangssignal an eine Auswerteeinheit liefert  
30 und der zweite Sensor ein zweites Teilentladungsausgangssignal an die Auswerteeinheit liefert und mit der Auswerteeinheit mit dem Abstand und dem zeitlichen Eintreffen des ersten Teilentladungsausgangssignals und des zweiten  
35 Teilentladungsausgangssignals der Entstehungsort der Teilentladung ermittelt wird.

Die Vorteile hierbei ergeben sich wie bereits bei der Messeinrichtung erwähnt.

Die auf den Sensor hin gerichtete Aufgabe wird gelöst durch  
5 einen Sensor zum Ermitteln von Teilentladungen, wobei eine  
als Folie ausgebildete elektrisch leitende Elektrode mit  
einer Vorderseite und einer Rückseite ausgebildet ist, wobei  
auf die Vorderseite eine Außenisolation aufgebracht ist und  
an der Elektrode ein als Anschluss ausgebildetes Koaxialkabel  
10 angeordnet ist und ein Dielektrikum an der Rückseite der  
Elektrode befestigt ist und eine Schirmelektrode mit dem  
Dielektrikum mittels eines Transferklebers befestigt ist.

Der Vorteil des Sensors besteht insbesondere darin, dass  
15 Signale der Teilentladungen deutlich und unverfälscht  
aufgenommen werden können. Darüber hinaus ist der Sensor  
derart gestaltet, dass er an Orten angebracht werden kann,  
die schwer zugänglich sind.

20 In einer vorteilhaften Ausgestaltung wird die Elektrode aus  
einem elastischen Material hergestellt. Damit wird eine  
Bruchgefahr des Sensors vermieden.

25 In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung wird die  
Elektrode aus Walzkupferklebefolie hergestellt. Durch die  
gezielte Wahl von Walzkupferklebefolie wird die Größe der  
Bauform minimiert. Darüber hinaus ist Walzkupferklebefolie  
elastisch und dadurch wird eine Zerstörung des Sensors durch  
30 Brechen minimiert.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung ist die Elektrode aus  
einem Schicht-Verbund aus Polyimid und Walzkupfer gebildet.  
Durch die gezielte Wahl von Polyimid und Walzkupfer wird  
35 ebenfalls die Größe des Sensors beeinflusst. Die Größe des  
Sensors kann hierdurch minimiert werden. Darüber hinaus ist  
der Schicht-Verbund aus Polyimid und Walzkupfer ein



elastisches Material, wodurch die Bruchgefahr der Elektrode minimiert wird.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung besteht die  
5 Außenisolation aus den Materialien Niederdruck-Polyethylen  
oder Polypropylen. Mit Niederdruck-Polyethylen oder  
Polypropylen werden Materialien vorgestellt, die reißfest und  
äußerst dünn sind. Damit wird eine Erhöhung der Lebensdauer  
des Sensors erreicht.

10

In einer vorteilhaften Ausgestaltung ist das Dielektrikum aus  
einem geschlossenporigen FCKW-freien Polyethylenschaum  
gebildet. Mit der Wahl des geschlossenporigen FCKW-freien  
Polyethylenschaums wird ein Material vorgeschlagen, das im  
15 eingebauten Zustand mit äußeren Kräften beaufschlagt werden  
kann. Der Polyethylenschaum ist elastisch und kann in  
verschiedene Richtungen gedehnt oder gedrückt werden, ohne  
das der Polyethylenschaum seine Eigenschaften als  
Dielektrikum verliert.

20

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung weist die  
Schirmelektrode ein kupferbeschichtetes Glasfaser-Epoxidharz  
auf. Kupferbeschichtetes Glasfaser-Epoxidharz ist biegsam und  
besitzt gleichzeitig gute elektrische Leitfähigkeit. Der  
25 Einsatz dieses Materials als Schirmelektrode in einem Sensor,  
der im eingebauten Zustand äußeren Kräften ausgesetzt ist,  
ist geradezu ideal.

Die Schirmelektrode weist zweckmäßigerweise eine Dicke von  
30 0,30mm bis 0,60mm, im wesentlichen 0,48 mm, auf.

Um die Messgenauigkeit zu erhöhen, wird die Elektrode  
zweigeteilt. Der Sensor findet Verwendung als induktiver,  
kapazitiver oder als Längsspannungssensor.

35

Anhand der Beschreibung und der Figuren werden  
Ausführungsbeispiele der Erfindung beschrieben. Dabei haben

mit denselben Bezugszeichen versehene Komponenten diegleiche Funktionsweise.

Dabei zeigen:

- Figur 1        Ein stark vereinfachter Ausschnitt eines Statorgehäuses eines Generators;
- Figur 2        Eine Darstellung eines Messprinzips;
- Figur 3        Darstellung eines erfassten Signals;
- Figur 4        Darstellung eines ausgewerteten Signals;
- Figur 5        Darstellung eines Teils eines Signals
- Figur 6        Darstellung eines Teils eines zweiten Signals;
- Figur 7        Draufsicht eines Sensors;
- Figur 8        Schnittbild eines Sensors;
- Figur 9        Schnittbild eines Sensors in eingebautem Zustand;
- Figur 10       Darstellung einer Messanordnung.
- Figur 11       Darstellung einer Messeinrichtung und einer Auswerteeinheit

5

In Figur 1 ist ein stark vereinfachter Ausschnitt einer dynamoelektrischen Maschine 1 dargestellt. Unter einer dynamoelektrischen Maschine ist ein Transformator oder ein  
10 Generator zu verstehen. Ein nicht dargestellter Rotor rotiert um eine Rotationsachse in einem Statorgehäuse 2. Im Statorgehäuse 2 sind eine elektrische Außenisolierung aufweisende Leiterstäbe 3 eingebaut. Ein Sensor 5,6 ist an einem Ende des Leiterstabes 3 angebracht.

15

In Figur 2 ist eine stark vereinfachte Messanordnung dargestellt. Ein erster Sensor 5 und ein zweiter Sensor 6 werden auf eine Oberfläche des Leiterstabes 3 angebracht. Der erste 5 und zweite 6 Sensor sind zum Erfassen von von der  
20 Teilentladung herrührenden, sich längs des Leiterstabes 3 ausbreitenden Signalen ausgebildet. Der erste Sensor 5 ist zum Ausgeben von einem ersten Erfassungszeitpunkt wiedergebenden, am ersten Sensor 5 anliegenden ersten

Teilentladungsausgangssignal 42 ausgebildet. Der zweite Sensor 6 ist zum Ausgeben von einem einen zweiten Erfassungszeitpunkt wiedergebenden, am zweiten Sensor 6 anliegenden Teilentladungsausgangssignal 43 ausgebildet. Am Entstehungsort 7 auf dem Leiterstab 3 entsteht eine Teilentladung in Folge einer schadhafte Isolierung. Die Teilentladung breitet sich als Signal zum einen in Richtung des ersten Sensors 5 und zum anderen in Richtung des zweiten Sensors 6 aus. Der erste Sensor 5 und der zweite Sensor 6 sind in einem Abstand 1 voneinander auf dem Leiterstab 3 angebracht.

Das erste Teilentladungsausgangssignal 42 und das zweite Teilentladungsausgangssignal 43 werden einer in Figur 2 nicht näher dargestellten Auswerteeinheit 44 zugeführt. Die Auswerteeinheit 44 ist zur Ortung der Teilentladung auf dem Leiterstab 3 ausgebildet.

In Figur 11 ist eine Darstellung der Messeinrichtung und der Auswerteeinheit 44 zu sehen. Die Auswerteeinheit 44 weist einen Zeit-Differenz-Baustein 45 mit einem ersten Zeit-Differenz-Signaleingang 47, einem zweiten Zeit-Differenz-Signaleingang 48 und einem Zeit-Differenz-Ausgang 49 auf. Am ersten Zeit-Differenz-Signaleingang 47 liegt das erste Teilentladungsausgangssignal 42 und am zweiten Zeit-Differenz-Signaleingang 48 liegt das zweite Teilentladungsausgangssignal 43 an.

Die Auswerteeinheit 44 ermittelt eine Zeit-Differenz zwischen einem Eintreffen des ersten Teilentladungsausgangssignals 42 des ersten Sensors 5 an dem Zeit-Differenzier-Baustein 45 und einem Eintreffen des zweiten Teilentladungsausgangssignal 43 des zweiten Sensors 6 an dem Zeit-Differenzier-Baustein 45. Der Wert der Zeit-Differenz liegt als Zeit-Differenz-Ausgangssignal am Zeit-Differenz-Ausgang 49 an.

## 12

Die Auswerteeinheit 44 weist einen Berechnungs-Baustein 46 mit einem Berechnungseingang 50 auf. An dem Berechnungseingang 50 liegt das Zeit-Differenz-Ausgangssignal an. Im Berechnungs-Baustein 46 wird ein

- 5 Teilentladungsortungswert berechnet, der den Entstehungsort 7 der Teilentladung auf dem Leiterstab 3 angibt.

Wie in Figur 2 dargestellt, ist die Mitte 8 des Leiterstabes 3 genau  $1/2 l$  vom ersten Sensor 5 und vom zweiten Sensor 6 entfernt. In dem in Figur 2 dargestellten Ausführungsbeispiel ist der Entstehungsort 7 der Teilentladung um die Länge  $l_2$  vom ersten Sensor 5 und um die Länge  $l_1$  vom zweiten Sensor 6 entfernt. Der Abstand des Entstehungsortes 7 der Teilentladung zur Mitte 8 des Leiterstabes 3 ist  $\Delta l$ .

15

Es gilt folgende Gleichung:

$$\Delta l = l_1 - l/2 = l/2 - l_2.$$

Ein Teilentladungssignal, das am Entstehungsort 7 entsteht und sich in Richtung des ersten Sensors 5 und zweiten Sensors 6 ausbreitet, trifft bei einer konstanten Ausbreitungsgeschwindigkeit  $v$  am weiter entfernten zweiten Sensor 6 um die Zeitdifferenz

$$\Delta t = t_1 - t_2 = 2\Delta l / v$$

- 25 später ein als am ersten Sensor 5.

Der Abstand  $l_1$  des Entstehungsortes 7 vom zweiten Sensor 6 beträgt dann

$$l_1 = (l + v \times (t_1 - t_2))/2.$$

- 30 Die am Entstehungsort 7 entstehende Teilentladung befindet sich in der Regel im Nutbereich einer Ständerwicklung.

Wesentlich für das Messverfahren ist ein geeignetes Verfahren zur Zeitmessung. Es ist möglich, die Zeitmessung digital durchzuführen. In Figur 3 ist beispielhaft das durch den ersten 5 oder zweiten 6 Sensor erfasste erste 42 oder zweite 43 Teilentladungsausgangssignal dargestellt. Die mit einer

## 13

- gestrichelten Linie in willkürlichen Einheiten angegebene X-Koordinate 10 ist als Zeitachse zu verstehen. Auf einer nicht dargestellten Y-Achse wird eine Amplitude des ersten 42 oder zweiten 43 Teilentladungsausgangssignals dargestellt. Die
- 5 Darstellung des ersten 42 oder zweiten 43 Teilentladungsausgangssignals auf der Y-Koordinate ist in willkürlichen Einheiten aufgetragen. Zusätzlich zu dem ersten 42 oder zweiten 43 Teilentladungsausgangssignal wird ein Maximalwert 11 durch eine gestrichelte Linie dargestellt.
- 10 In der Figur 4 ist der Betrag des in Figur 3 dargestellten Teilentladungsausgangssignals 42, 43 in einer X-, Y-Darstellung dargestellt.
- 15 Durch die Auswertung des Betrages des ersten 42 oder zweiten 43 Teilentladungsausgangssignals kann ein Schwingungsverhalten des ersten 42 oder zweiten 43 Teilentladungsausgangssignals berücksichtigt werden.
- 20 Mit der Eintreffzeit 12 ist der Zeitpunkt des Eintreffens des von der Teilentladung herrührenden Signals am ersten 5 oder zweiten 6 Sensor zu verstehen. Durch die Darstellung des Betrages des ersten 42 oder zweiten 43
- 25 Teilentladungsausgangssignals kann ein Signalrauschen 13 deutlich vom ersten 42 oder zweiten 43 Teilentladungsausgangssignal getrennt werden.
- 20% des Maximalwerts 11 wird durch eine 20%-Hilfslinie 14
- 30 dargestellt. Das erste 42 oder zweite 43 Teilentladungsausgangssignal wird erst ab einer Überschreitung der 20%-Hilfslinie als brauchbares Signal gewertet.
- 35 Durch Festlegung der 20%-Hilfslinie ist die Messeinrichtung weitgehend unabhängig von einem Grundrauschen des von der Teilentladung herrührenden Signals.

In Figur 5 ist ein Teil des ersten 42 oder zweiten 43  
5 Teilentladungsausgangssignals dargestellt. 30% des  
Maximalwerts 11 werden durch eine 30%-Hilfslinie 16  
dargestellt. 70% des Maximalwerts 11 werden durch eine 70%-  
Hilfslinie 17 dargestellt. Der Verlauf des ersten 42 oder  
10 zweiten 43 Teilentladungsausgangssignals von einem  
Minimalwert 19 zu einem Maximalwert 11 wird durch eine  
Hilfstangente 16 dargestellt. Die Hilfstangente 16 wird durch  
eine Gerade definiert, die durch einen ersten Schnittpunkt  
51, gebildet durch einen Schnittpunkt zwischen dem ersten 42  
oder zweiten 43 Teilentladungsausgangssignal und der 70%-  
15 Hilfslinie 18 und einem zweiten Schnittpunkt 52, gebildet  
durch einen Schnittpunkt zwischen dem ersten 42 oder zweiten  
43 Teilentladungsausgangssignal und der 30%-Hilfslinie 17.

In Figur 6 ist ein anderes zeitliches Verhalten des ersten 42  
20 oder zweiten 43 Teilentladungsausgangssignals dargestellt.  
Bei einem flacheren Anstieg des ersten 42 oder zweiten 43  
Teilentladungsausgangssignals ist es unter Umständen  
schwierig, ein genaues Eintreffen des von der Teilentladung  
herrührenden Signals zu bestimmen. Man kann in diesem Fall  
25 nicht genau sagen, wann das Signal eintrifft. Die  
Hilfstangente 16 schneidet die X-Koordinate 10 in der Hilfs-  
Eintreffzeit 21. Die Hilfs-Eintreffzeit 21 kann als der  
Zeitpunkt des Eintreffens des von der Teilentladung  
herrührenden Signals definiert werden.  
30 Durch die Einführung der 30%-Hilfslinie und der 70%-  
Hilfslinie und der Hilfstangente 16 wird der in Figur 6  
dargestellte flache Anstieg des ersten 42 oder zweiten 43  
Teilentladungsausgangssignals berücksichtigt und dadurch die  
Messgenauigkeit erhöht.  
35 Dadurch ist eine Unterscheidung zwischen auffälligen  
Teilentladungsimpulsen und normalen alterungsbedingten  
Teilentladungen möglich.

Der erste 5 oder zweite 6 Sensor ist als kapazitiv wirkender oder induktiv wirkender oder als Längsspannungssensor wirkender Sensor auf dem Leiterstab 3 angebracht.

5

Die Messeinrichtung kann in einem Generator oder in einem Transformator verwendet werden.

10 In den Figuren 7, 8 und 9 ist der Aufbau des ersten 5 oder zweiten 6 Sensors dargestellt. In Figur 7 ist eine Draufsicht auf den ersten 5 oder zweiten 6 Sensor dargestellt. Wie in Figur 8 dargestellt, ist eine als Folie ausgebildete elektrisch leitende Elektrode 23 mit einer Vorderseite 35 und einer Rückseite 36 mit einer Außenisolation 24 auf der  
15 Vorderseite 35 verbunden. Die Elektrode 23 wird über Anschlüsse 25 mit Koaxialkabeln 26 verbunden. Der in Figur 7 dargestellte erste 5 oder zweite 6 Sensor ist mit insgesamt vier Elektroden 23 ausgebildet.

20 In Figur 8 ist ein Schnitt durch den ersten 5 oder zweiten 6 Sensor dargestellt. Die Elektrode 23 ist mit einer Außenisolation 24 verbunden, um Erdschleifen zwischen den Sensoren 5, 6 und einer Hochspannungsanlage zu vermeiden. Ein aus nichtleitendem elastischen Material hergestelltes  
25 Dielektrikum 27 ist mittels eines Transferklebers 28 an der Rückseite 36 der Elektrode 23 verbunden. Ein weiteres Dielektrikum 29 wird an eine Unterseite 30 des ersten 5 oder zweiten 6 Sensors angebracht.

30 Eine Schirmelektrode 31 wird an dem weiteren Dielektrikum 29 angebracht. In einer alternativen Ausführungsform wird die Elektrode 23 aus einem elastischen Material hergestellt. In einer weiteren alternativen Ausführungsform wird die Elektrode aus Walzkupferklebefolie hergestellt.

35

Als Außenisolation 24 hat sich handelsüblicher Klebefilm (Handelsname z.B. TESA) bewährt. Paketklebeband ist quer zur

Wickelrichtung nicht reißfest genug, PVC-Isolierband hat wegen des Weichmachergehalts eine zu raue und klebrige Oberfläche.

- 5 Statt die Elektrode 23 mit Klebefilm abzudecken, kann man Elektroden 23 aus Walzkupferklebefolie auf eine Innenseite 9 der Außenisolation 24 kleben. Als Materialien sind Niederdruck-Polyethylen (HD-PE) oder Polypropylen (PP) geeignet. Aufgrund der Verformbarkeit der glatten Oberfläche  
10 und der Haftung der Walzkupferklebefolie ist eine PET-Folie (Normbezeichnung: F1515, Handelsname: Hostapan) geeignet. Die Anschlüsse 25 werden an die Elektrode 23 angelötet.

- Als Dielektrikum 27 wird ein geschlossenporiger FCKW-freier  
15 PE-Schaum, der als Polstermaterial für Verpackungen und Trittschalldämmung im Handel ist, verwendet. Die Koaxialkabel 26 sind an einem Rand 32 des Dielektrikums 27 unter der umgefalteten Außenisolation 24 mittels Transferkleber 28 festgeklebt. Die Schirmelektrode 31 ist aus  
20 kupferbeschichtetem Glasfaser-Epoxidharz mit einer Stärke von 0,40mm bis 0,60mm, vorzugsweise 0,48 mm, hergestellt. Eine Gesamtdicke 33 des ersten 5 oder zweiten 6 Sensors ist durch eine weitere Zwischenlage aus einem nicht näher dargestellten zusätzlichen Dielektrikum an den Abstand zwischen dem  
25 Leiterstab 3 und einem Druckfinger 34 anpassbar.

- In einer alternativen Ausführungsform wird die Elektrode 23  
30 aus Polyimid und Walzkupfer hergestellt.

Die in Figur 8 und Figur 9 dargestellte Elektrode 23 ist zweigeteilt.

- 35 In Figur 10 ist ein Messprinzip dargestellt. Der erste 5 oder zweite 6 Sensor wird über drei Leitungen 37, 38, 39 an einen Symmetrieübertrager 11 angekoppelt. Der Symmetrieübertrager



17

11 ist auch unter der Bezeichnung „balanced unbalanced transformator“, kurz „balun“ bekannt. An den Symmetrieübertrager 11 ist eine Erfassungseinheit 41 zur Darstellung und Auskopplung des ersten 42 oder zweiten 43  
5 Teilentladungsausgangssignals angekoppelt.

Bei kapazitiven und Längsspannungssensoren ist auf eine  
10 niedrige Dielektrizitätszahl zu achten. Zur Anpassung der Gesamtdicke 33 des ersten 5 oder zweiten 6 Sensors an eine Spaltbreite werden entweder das Dielektrikum 27 der entsprechenden Stärke verwendet oder das weitere Dielektrikum 29 eingesetzt.

15

Der erste 5 oder zweite 6 Sensor ist auch als Mehrfachsensor einsetzbar. Entsprechend der Zahl der Leiterstäbe 3 in einer Nut können mehrere Sensoren auf einem Leiterstab 3 angeordnet  
werden.

20

25

## Patentansprüche

1. Messeinrichtung zur Ortung einer Teilentladung bei einem  
eine elektrische Außenisolierung aufweisenden Leiterstab  
5 (3) einer dynamoelektrischen Maschine (1),  
da durch gekennzeichnet, dass  
ein erster (5) und ein zweiter (6) Sensor, die zum  
Erfassen von von der Teilentladung herrührenden, sich  
längs des Leiterstabs (3) ausbreitenden Signalen  
10 ausgebildet sind, wobei der erste Sensor (5) zum Ausgeben  
von einem ersten Erfassungszeitpunkt  
wiedergebenden, am ersten Sensor (5) anliegenden ersten  
Teilentladungsausgangssignal (42) und der zweite Sensor  
(6) zum Ausgeben von einem zweiten Erfassungszeitpunkt  
15 wiedergebenden, am zweiten Sensor (6) anliegenden zweiten  
Teilentladungsausgangssignals (43) ausgebildet sind, in  
einem Abstand (1) voneinander auf dem Leiterstab (3)  
angeordnet sind und das erste  
Teilentladungsausgangssignal (42) und das zweite  
20 Teilentladungsausgangssignal (43) einer Auswerteeinheit  
(44) zugeführt sind, die zur Ortung der Teilentladung auf  
dem Leiterstab (3) ausgebildet ist.
2. Messeinrichtung nach Anspruch 1,  
25 da durch gekennzeichnet, dass  
die Auswerteeinheit (44) einen Zeit-Differenz-Baustein  
(45) mit einem ersten Zeit-Differenz-Signaleingang (47),  
einem zweiten Zeit-Differenz-Signaleingang (48) und einem  
Zeit-Differenz-Ausgang (49) aufweist,  
30 wobei am ersten Zeit-Differenz-Signaleingang (47) das  
erste Teilentladungsausgangssignal (42) und am zweiten  
Zeit-Differenz-Signaleingang (48) das zweite  
Teilentladungsausgangssignal (43) anliegt, wobei die  
Auswerteeinheit (44) derart ausgebildet ist, dass eine  
35 Zeit-Differenz zwischen einem Eintreffen des ersten  
Teilentladungsausgangssignals (42) des ersten Sensors (5)  
an dem Zeit-Differenz-Baustein (45) und einem Eintreffen

- des zweiten Teilentladungsausgangssignals (43) des zweiten Sensors (6) an dem Zeit-Differenz-Baustein (45) ermittelt wird und als Zeit-Differenz-Ausgangssignal am Zeit-Differenz-Ausgang (49) anliegt,
- 5 wobei die Auswerteeinheit (44) einen Berechnungs-Baustein (46) mit einem Berechnungseingang (50) aufweist, an dem das Zeit-Differenz-Ausgangssignal anliegt und derart ausgebildet ist, dass ein Teilentladungsortungswert berechnet wird, der den Entstehungsort (7) der
- 10 Teilentladung auf dem Leitungsstab (3) angibt.
3. Messeinrichtung nach Anspruch 2,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die Auswerteeinheit (44) zur Ermittlung des
- 15 Teilentladungsortungswertes gemäss der Gleichung  $l1 = (l + v \Delta t)/2$  ausgebildet ist, wobei  $l$  der Abstand zwischen dem ersten (5) und dem zweiten (6) Sensor ist,  $l1$  der Abstand des Entstehungsortes (7) der Teilentladung zur Mitte zwischen dem ersten (5) und zweiten (6) Sensor
- 20 ist,  
 $v$  die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Teilentladung,  $\Delta t$  die Zeit-Differenz ist.
4. Messeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
25 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass der erste (5) oder zweite (6) Sensor ein kapazitiv wirkender Sensor ist.
5. Messeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
30 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass der erste (5) oder zweite (6) Sensor ein induktiv wirkender Sensor ist.
6. Messeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
35 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass der erste (5) oder zweite (6) Sensor ein Längsspannungssensor ist.

7. Verwendung der Messeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6 in einem Generator .
- 5 8. Verwendung der Messeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6 in einem Transformator.
9. Sensor (5, 6) zum Ermitteln von Teilentladungen,  
g e k e n n z e i c h n e t d u r c h  
10 eine als Folie ausgebildete elektrisch leitende Elektrode  
(23) mit einer Vorderseite (35) und einer Rückseite (36),  
wobei auf die Vorderseite (35) eine Außenisolation (24)  
aufgebracht ist und an der Elektrode (23) zwei als  
15 Anschlüsse (25) ausgebildete Koaxialkabel (26) angeordnet  
sind und ein Dielektrikum (27) an der Rückseite (36) der  
Elektrode (23) befestigt ist und eine Schirmelektrode  
(31) mit dem Dielektrikum (27) mittels eines  
Transferklebers (28) befestigt ist.
- 20 10. Sensor (5, 6) nach Anspruch 9,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
die Elektrode (23) aus einem elastischen Material  
hergestellt ist.
- 25 11. Sensor (5, 6) nach Anspruch 9 oder 10,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
die Elektrode (23) aus Walzkupferklebefolie hergestellt  
ist.
- 30 12. Sensor (5, 6) nach Anspruch 9 oder 10,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
die Elektrode (23) aus einem Schicht-Verbund aus Polyimid  
und Walzkupfer gebildet ist.
- 35 13. Sensor (5, 6) nach Anspruch 9,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
die Außenisolation (24) aus dem Material

Niederdruckpolyethylen oder Polypropylen hergestellt ist.

14. Sensor (5, 6) nach Anspruch 9,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
5 das Dielektrikum (27) aus einem geschlossenenporigen FCKW-  
freien Polyethylenschaum gebildet ist.
15. Sensor (5, 6) nach Anspruch 9,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
10 die Schirmelektrode (31) kupferbeschichtetes Glasfaser-  
Epoxidharz aufweist.
16. Sensor (5, 6) nach Anspruch 9,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
15 die Schirmelektrode (31) eine Dicke zwischen 0,30mm und  
0,60mm aufweist.
17. Sensor (5, 6) nach einem der Ansprüche 9 bis 16,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
20 die Elektrode (23) zweigeteilt ist.
18. Verwendung eines Sensors (5, 6) nach einem der Ansprüche  
9 bis 17 als induktiver Sensor.
- 25 19. Verwendung eines Sensors (5, 6) nach einem der Ansprüche  
9 bis 17 als kapazitiver Sensor.
20. Verwendung eines Sensors (5, 6) nach einem der Ansprüche  
9 bis 17 als Längsspannungssensor.
- 30 21. Verfahren zur Erfassung und Ortung einer Teilentladung  
bei einem eine elektrische Außenisolierung aufweisenden  
Leiterstab (3) einer dynamoelektrischen Maschine (1)  
dadurch gekennzeichnet, dass  
35 ein erster Sensor (5) und ein zweiter Sensor (6) zur  
Erfassung von von der Teilentladung herrührenden, sich  
längs des Leiterstabs (3) ausbreitenden Signalen in einem

22

Abstand (1) voneinander auf dem Leiterstab (3) angebracht werden und der erste Sensor (5) ein erstes Teilentladungsausgangssignal (42) an eine Auswerteeinheit (44) liefert und der zweite Sensor (6) ein zweites Teilentladungsausgangssignal (43) an die Auswerteeinheit (44) liefert und mit der Auswerteeinheit (44) mit dem Abstand (1) und dem zeitlichen Eintreffen des ersten Teilentladungsausgangssignals (42) und des zweiten Teilentladungsausgangssignals (43) der Entstehungsort (7) der Teilentladung ermittelt wird.

15

1/5

FIG 1

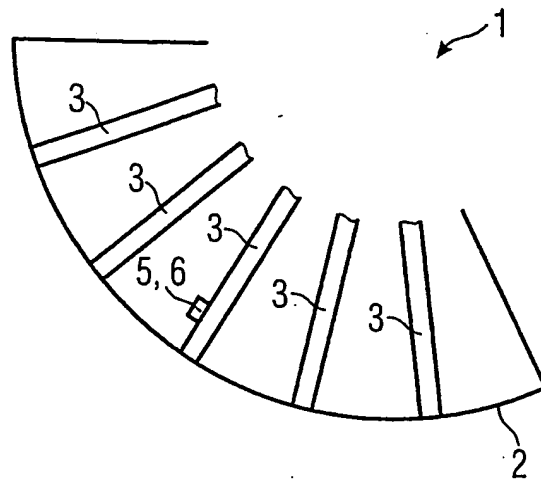
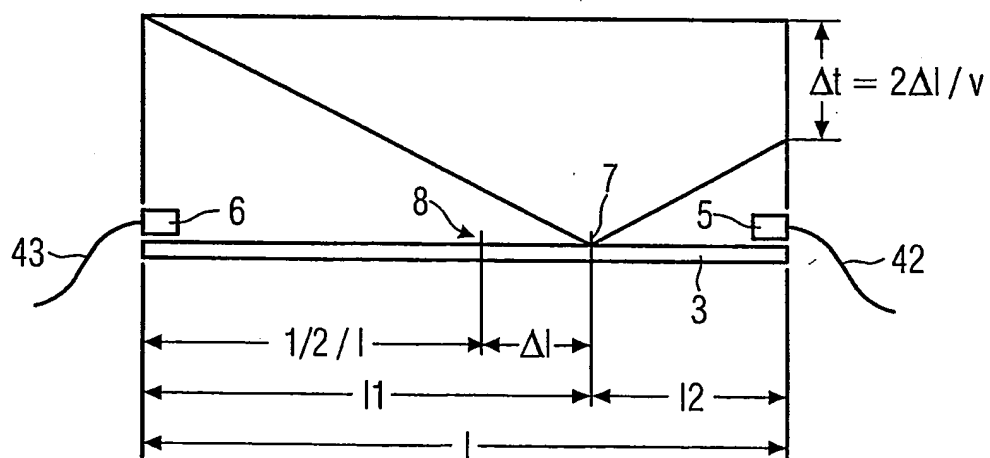


FIG 2



2/5

FIG 3

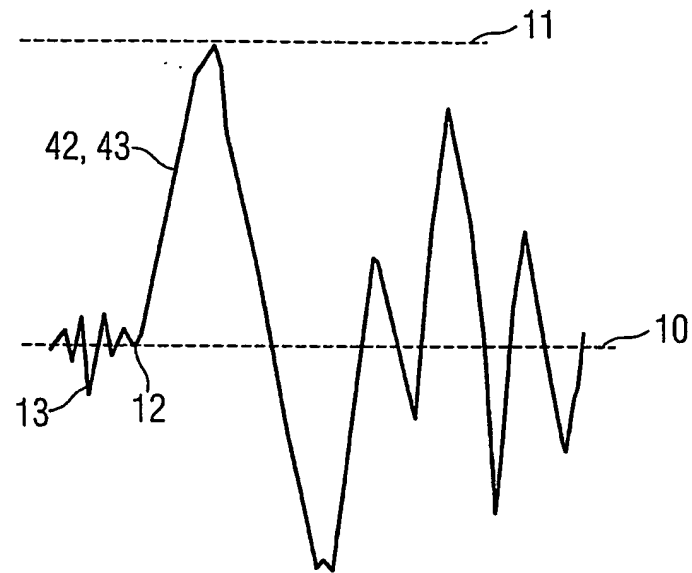
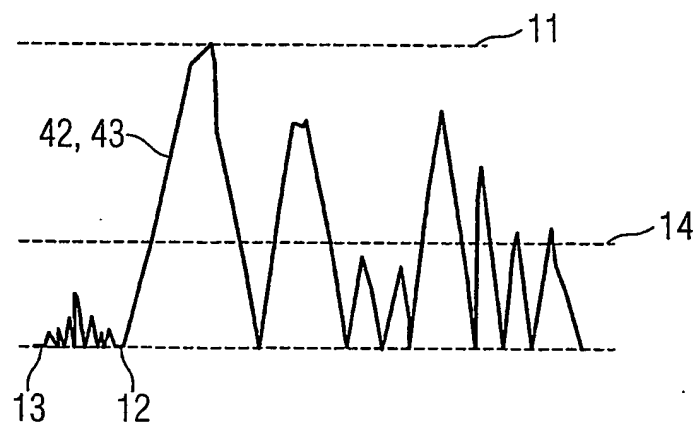


FIG 4





3/5

FIG 5

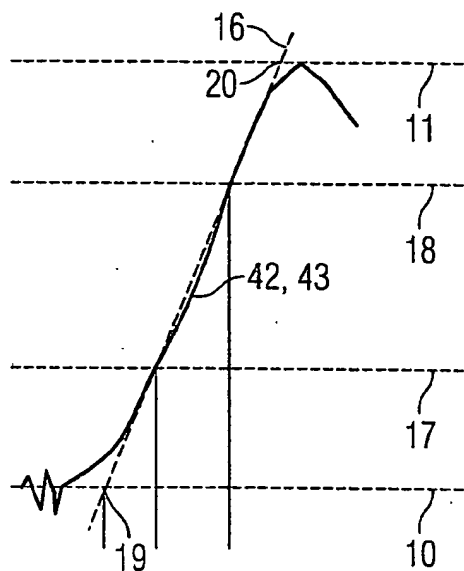
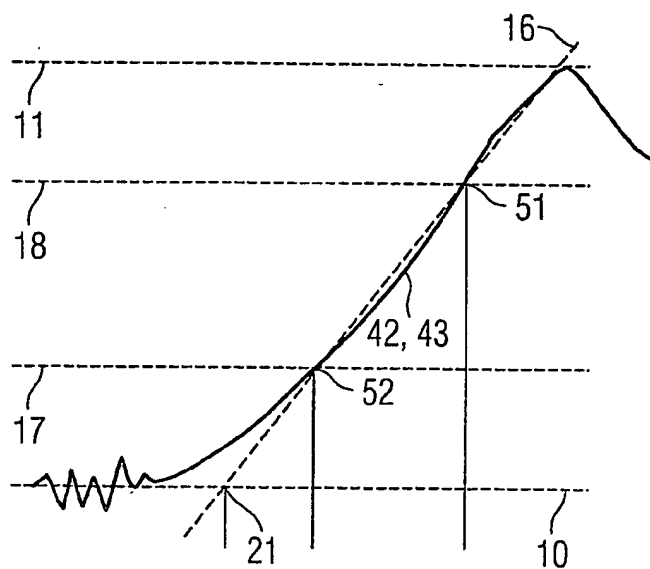


FIG 6



4/5

FIG 7

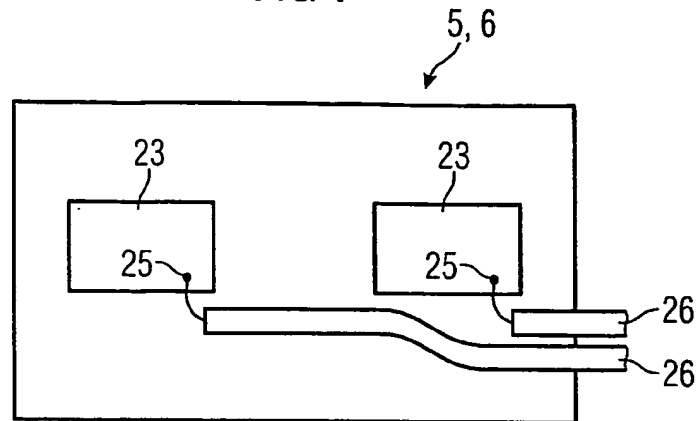


FIG 8

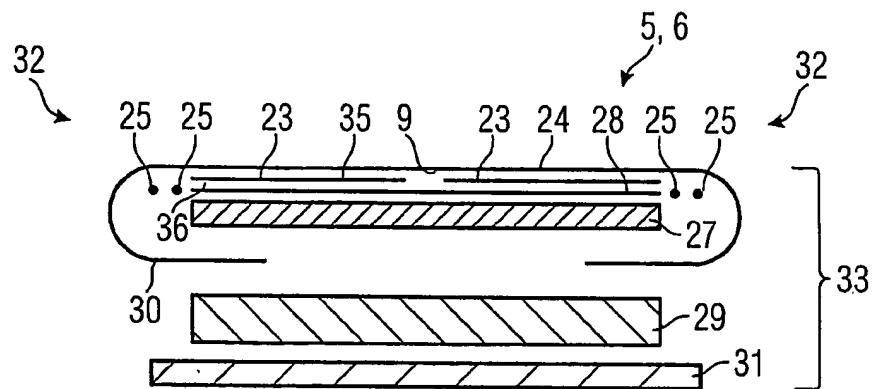
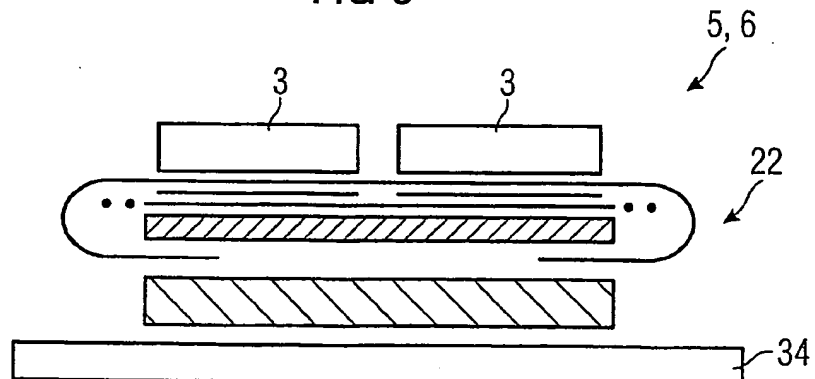


FIG 9



5/5

FIG 10

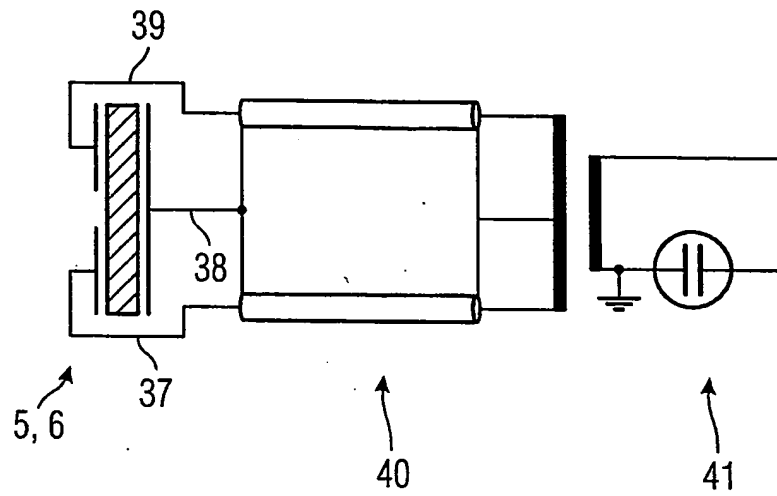


FIG 11

